

GIDALARDA SU AKTİVİTESİNİN TERMODİNAMİĞİ

THE THERMODYNAMICS OF WATER ACTIVITY IN FOODS

Muharrem CERTEL¹, M.Fatih ERTUGAY²¹ Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Bilimi ve Teknolojisi, ANTALYA² Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, ERZURUM

ÖZET: Bu derlemede, gıdaların işlenmesi ve depolanması sırasında, oldukça önemli bir rol oynayan su aktivitesinin termodinamik açıdan tanımı yapılmıştır. Ayrıca, gıda-su interaksyonları, gıda sistemlerindeki çözümlerin özellikleri ve su aktivitesi ile bazı termodinamik parametreler arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

SUMMARY: In this review, water activity which plays very important role during food processing and storing has been described in terms of thermodynamics. Food-water interactions, properties of solutions in food systems, and the relationships between water activity and some thermodynamics parameters have also been considered.

GİRİŞ

Su, gıdalarda bozulma reaksiyonlarını yönlendiren en önemli faktördür. Özellikle mikrobiyal gelişme ya da bozulmanın seyri gıdanın su içeriğine bağlıdır. Gıdaların muhafazası için kullanılan en eski yöntemler; konsantre etme, kurutma, tütüleme, tuz ve şeker ilavesidir. Bu yöntemler serbest su içeriğinin azaltılması esasına dayanır. Su içeriği tek başına gıdanın raf ömrünü belirlemez, ancak bozulma reaksiyonları ile ilgili bazı faktörler suyun kullanılabilirliği ile ilgilidir. Örneğin, patates nişastası % 20 nemde stabil iken kristalin beyaz şeker % 2 nemde stabil değildir.

Su aktivitesi ya da nisbi buhar basıncı ile su muhtevası arasındaki ilişki su sorbsiyon izotermi ile açıklanmakta ve bu izoterm gıdaların kurutma, paketlenme ve depolanmasında pratik olarak kullanılabilir (VAN DEN BERG, 1986).

Gıdalardaki su, çoğu bileşenler için çözücü olarak görev yapar. Kurutma işlemi ise bu çözümleri konsantre eder. Konsantrasyon işlemi su içeriğini azaltmasının yanı sıra, gıdanın sulu fazının konsantrasyonunu artıran diğer yöntemler gibi gıdanın stabilitesini de artırır. Tuzlama ve şuruplama gibi alternatifler çözünen madde konsantrasyonunu artırmak sureti ile gıdayı muhafaza eder. Tarih boyunca tuzlama ve kurutma kombinasyonu hayvansal gıdaların, şuruplama ve kurutma ise meyve ve sebzelerin muhafazasında yaygın olarak kullanılmıştır.

Su içeriği ve çözünen madde konsantrasyonu, gıdadaki mevcut suyun özellikleri hakkında fazla bir bilgi vermez. Bununla birlikte, denge nisbi nemi, ozmotik basınç ve su aktivitesi ise reaksiyonlara katılan kullanılabilir suyun iyi bir göstergesi olarak kullanılabilir. Fakat bu özellikler aynı ölçüde her gıdaya uygulanamaz. Mesela, ozmotik basıncın kullanımı, uygun geçirgenliğe sahip bir zar varlığında söz konusudur. Denge nisbi nemi ise gıdanın dengede bulunduğu çevre atmosferi ile tam bir uyum içindedir.

Denge nem muhtevası ve denge nisbi nemi arasındaki ilişki, gıdalarda enzimatik reaksiyonların seyrini incelemeye ve mikrobiyal gelişmeyi belirlemeye önemli bir kriterdir. Denge nem muhtevası kuru gıdaların minimum nem miktarını belirlemektedir (ACHOBA ve ark., 1991).

Su aktivitesi, gıda bozulmalarının kinetiği ve kurutma prosesleri ile oldukça yüksek bir korelasyon gösterir (BENADO ve RIZVI, 1985). Gıdaların kurutulması sırasında, sıcaklık ve su aktivitesinin fonksiyonu olarak, gıdanın termodinamik özelliklerinin doğru olarak bilinmesi gerekir (ANDRIEU ve ark., 1986). Yapılan bir çok araştırmada, gıdadaki suyun özelliklerinin kurutma hızı üzerinde önemli rol oynadığı saptanmıştır (LABUZA, 1968; ROCKLAND ve NISHI, 1980; BRUIN ve LUYBEN, 1982).

Ayrıca, su aktivitesi kurutulmuş gıdaların stabilitesini de etkilemektedir (LABUZA ve ark., 1985). Gerek kimyasal reaksiyonlar gerekse mikrobiyal faaliyet, su aktivitesi tarafından doğrudan kontrol altına alınabilir (SCOTT, 1957; LABUZA, 1970; TROLLER ve CHRISTIAN, 1978).

Gıda teknolojisinin pek çok uygulamasında, gıdadaki su, gıdayı çevreleyen atmosfer ile dengede değildir. Bu gibi durumlarda gıdanın su içeriği zamanla değişmekte ve bu değişim gıdanın stabilitesini önemli derecede etkilemektedir.

SU AKTİVİTESİNİN TANIMI

Su aktivitesi, fugasite veya uçuculuk oranı olarak tanımlanan termodinamik bir kavramdır ve uygulamalı termodinamik ile termodinamiğin temeli su aktivitesini anlamak için gereklidir.

Ayrıca, su aktivitesi, üründeki suyun buhar basıncının aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncına oranı olarak da tanımlanmaktadır (STOLOFF, 1978; ROCKLAND ve NISHI, 1980).

Dengedeki herhangi bir sistem, minimum bir serbest enerji ile değişime uğrayabilir. Değişimlerin meydana geldiği böyle bir gıda sistemi söz konusu olduğu zaman genellikle sistem sabit basınçta. Bu sistemin dengesi, serbest entalpi yada Gibbs serbest enerjisi (G) tarafından kontrol edilir. Çevresi ile sistemin kendi atmosferi arasında kütle transferinin olmadığı kapalı bir sistem için G fonksiyonu şöyle tanımlanır:

$$G = U + pV - TS = H - TS \dots \dots \dots (1)$$

Ayrıca $U + pV$ ifadesi entalpi olarak tanımlanmaktadır. Sıvı ve katı fazlarda "pV" çevre sıcaklığında ihmal edilebilir. Gibbs fonksiyonu saf bir maddeye veya bir karışımın bileşenine uygulanabilir. Bir karışımındaki herhangi bir i bileşeni için Gibbs serbest enerjisi mol esasına göre şöyle ifade edilebilir ve bu ifade aynı zamanda kimyasal potansiyele eşittir:

$$\mu_i = [G/n_i]_p, T, n_j \text{ (karışım)} \dots \dots \dots (2)$$

Çeşitli faz ve bileşenden ibaret olan bir sistem, termodinamik dengede olduğu zaman, moleküller fazlar arasında sürekli olarak değişmektedir. Fazlar arasındaki çeşitli moleküllerin değişim oranı birbirine eşittir ve çeşitli fazların kütlelerinde net bir değişim yoktur. Fazlar içindeki bütün bileşenlerin kimyasal potansiyelleri eşittir.

Kimyasal potansiyel aşağıdaki matematiksel ifadeyle tanımlanan mutlak aktivite olarak isimlendirilen bir başka özellik ile ilgilidir:

$$\mu = RT \ln \lambda \dots \dots \dots (3)$$

Kimyasal potansiyelin mutlak değeri bilinmemektedir. Bir karışımındaki herhangi bir bileşenin mutlak aktivitesi, aynı sıcaklık ve toplam basınçtaki saf bileşik olarak alınan standart veya referans durumdaki bileşiğin aktivitesi ile ilişkilendirilmektedir. O halde 3 nolu eşitlik şu şekilde de yazılabilir:

$$\mu_i - \mu_{ref} = RT \ln (\lambda_i / \lambda_{ref}) = RT \ln a_i \dots \dots \dots (4)$$

i bileşeni, su olduğu zaman mutlak aktivite oranı, su aktivitesi olarak ifade edilmektedir. Moleküler interaksyon ve sulanmadan dolayı saf maddenin aktivitesi azalmakta ve bir karışımındaki herhangi bir maddenin nisbi aktivite değeri her zaman 0 ile 1 arasında bulunmaktadır.

Gerçek sistemlere teorik olarak aktivite kavramının uygulanmasında, kimyasal potansiyel ve mutlak aktivite direkt olarak kullanılamaz. Bundan dolayı, kimyasal potansiyel ve mutlak aktivite, su aktivitesinin pratik olarak kullanımı için bir anahtar olan uçuculuk veya fugasite gibi fonksiyonların yardımıyla ifade edilmelidir. Sabit sıcaklıktaki Gibbs-Duhem eşitliği ile ideal gaz kanununun kombinasyonu yapılarak aşağıdaki ilişki bulunmuştur:

$$d\mu_i = RT d \ln p_i \dots \dots \dots (5)$$

Gerçek sistemlerde bu ilişkiyi genelleştirmek için, fugasite basıncının bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Gerçek gaz için:

$$f = p \exp [(\mu(T,p) - \mu^{id}(T,p))/RT] = p (\lambda / \lambda^{id}) \dots \dots \dots (6)$$

Fugasite veya uçuculuk, buhar basıncı boyutlarına sahiptir ve maddenin moleküllerinin hareket eğilimini göstermektedir. Bir karışımdaki ideal bir gaz için fugasite kısmi basınca eşdeğerdir. Gerçek gazlar için, toplam basınç artarken fugasite buhar basıncına yaklaşmaktadır. Çünkü bütün gazlar sıfır basınçta ideal hal göstermektedir.

$$(f_i/p_i) \approx 1 \quad p \rightarrow 0 \quad \dots \dots \dots (7)$$

Su, çevre sıcaklıklarında düşük buhar basıncına sahiptir ve bundan dolayı buhar fazındaki ideal olmayan hal ihmal edilebilir. Neticede gerçek bir sistemdeki suyun aktivitesi şu şekilde ifade edilebilir:

$$a_w = (f_w/f_w^o) \approx (p_w/p_w^o) \quad \dots \dots \dots (8)$$

Bunun için, bir sistemin su aktivitesi o sistemin üzerindeki suyun nisbi buhar basıncına hemen hemen eşdeğerdir.

Saf su referans olarak alındığı için buz içeren tüm sistemler sistem sıcaklığındaki buzun su aktivitesine sahiptir ve buzun su aktivitesi şöyle tanımlanabilir:

$$a_w(\text{buz}) \approx (p_{\text{buz}}/p_w^o) \quad \dots \dots \dots (9)$$

Yukarıdaki ifadede verilen P_w^o buz oluşum başlangıç sıcaklığına kadar aşırı soğutulmuş suyu göstermektedir.

Aşırı soğutulmuş su için buhar basınçları yaklaşık -36°C 'ye kadar bilinmektedir. Bu yüzden bir sistemdeki buz, ancak sistemin su aktivitesi donma sıcaklığındaki buzun su aktivitesinden daha yüksek olduğu zaman oluşmaktadır.

Gıda ile dengedeki suyun buhar basıncı ölçülebilir. Denge nisbi nemi, nisbi buhar basıncının 100 katıdır (ROCKLAND ve NISHI, 1980):

$$a_w \approx (p_w/p_w^o) = (\text{Denge nisbi nemi}/100) \quad \dots \dots \dots (10)$$

Şunun unutulmaması gerekir ki su aktivitesi bu şekilde tanımlandığı için bu formül sadece termodinamik dengedeki bir sisteme tam manasıyla uygulanabilir ve bunun değeri sadece belli sıcaklık ve basınç şartlarında kesindir. Bununla birlikte çoğu gıda sistemleri için tam termodinamik stabilite, sabit sıcaklık ve sabit basınç pratikte nadiren gerçekleştirilebilir.

Çizelge 1'de bazı gıdaların yaş esasa göre su aktivite değerleri verilmiştir (VAN DEN BERG, 1986).

Çizelge 1. Bazı Gıdaların Yaş Esasa Göre Su Aktivite Değerleri

Gıda	a_w	Su (%)
Süt	0,994	87
Taze et	0,985	70
Ekmek	0,960	40
Sosis	0,890	42
Marmelat	0,860	35
Şekerli kondanse süt	0,830	28
Buğday unu	0,720	14,5
Kuru üzüm	0,600	27
Makarna	0,450	10
Bisküit	0,200	5
Patates cipsi	0,080	1,5

GIDA-SU İTERAKSİYONLARI

Su ve kuru gıdalar arasında kuvvetli bir interaksiyon vardır. Özellikle, su ile yüksek polariteye sahip polimer bileşenler arasında bu interaksiyon söz konusudur. Genellikle, molekül ağırlığı ne kadar yüksek ise, su molekülü ve her bir polar gurup arasındaki interaksiyon o kadar büyüktür. Makromoleküllerin nem içeriği % 30 ile % 45 seviyesine düştüğü zaman su aktivitesi etkilenmekte ve su içeriği azaldıkça bu etki de tedrici olarak artmaktadır (VAN DEN BERG, 1986).

Kurutulmuş gıdalarda, nem çekicilik önemli bir özelliktir. Genellikle ürün tarafından adsorbe veya desorbe edilen suyun miktarı; çevre buhar basıncı,

sıcaklık ve ürünün özellikleriyle direkt olarak ilgilidir. Kurutulmuş meyveler söz konusu olduğunda, esas şeker bileşikleri olan glikoz ve fruktoz gibi moleküller, yapılarında bulunan polar guruplardan dolayı su

molekülleri ile kuvvetli interaksyonlar oluştururlar (DE GOIS ve CAL-VIDAL, 1986). Dondurarak kurutulmuş gıdalar söz konusu olduğunda poröz yapıdan dolayı su buharı difüzyonu ve yüksek oranda su adsorbsiyonu gerçekleşir (SARAVACOS, 1967).

0 ile 1 su aktivitesi arasında, su, nişastanın polar bölgeleri üzerine kuvvetli bir şekilde ve direkt olarak bağlı bulunmaktadır. 0,1 ile 0,65 su aktivitesi arasında, su molekülleri, ya daha önceden oluşmuş bağlara ya da nişasta yapısı içerisindeki gizli polar bölgelere bağlanır. 0,65'in üzerindeki su aktivitelerinde ise su molekülleri küçük kapılara ve nişasta granülleri arasına akümüle olmaktadır (MOK ve DICK, 1991).

Gıdalarda protein-su interaksyonlarının öneminden dolayı bir çok araştırmacı su ve proteinlerin stabilitesi arasındaki ilişkiyi açıklamaya çalışmıştır (SLADE ve ark., 1989; WOLF ve ark. 1985). Farklı gıda bileşenleri ve su arasındaki yarı mikroskobik seviyede meydana gelen interaksyon tipleri şunlardır:

- a. London van der Waals dispersiyon kuvvetleri
- b. Spesifik hidrojen bağları
- c. Su, iyonlar ve ayrılmış gruplar arasındaki kulomb kuvvetleri (elektrostatik çekim kuvvetleri)
- d. Sterik etkiler
- e. Erime etkileri (suda çözülebilir bileşenlerin)
- f. Kapillar kuvvetler
- g. Rijit halden yumuşak hale geçişin sebep olduğu polimer segmentler ve diğer amorf bileşiklerin hareketliliğindeki değişimler.

İlk 5 mekanizma iyi bilinmemekte, fakat rijit halden yumuşak hale geçiş veya başka bir ifadeyle yumuşama noktası iyi bilinmemektedir. Saf amorf bileşikler için bu geçiş, erime sıcaklığının % 70'i kadar bir ısıtmayla meydana gelmektedir.

Polar bileşikler için bu geçiş sıcaklığı suyun faaliyetinden etkilenmektedir. Geçiş sırasında başlangıçtaki rijit durum, moleküllerin hareketliliğinin artmasından dolayı kuvvetli elastik duruma doğru değişmektedir. Düşük su içeriklerinde, bir çok gıda bileşenlerinin hareketliliği, sıcaklık artışı ile birlikte, nemin artmasıyla da etkilenmektedir (VAN DEN BERG, 1986).

Kurutulmuş amorf bir maddenin, sıcaklık veya nemindeki artış, maddenin yapısında fiziksel değişmelere yol açabilir. Ayrıca, maddenin rijit durumdan elastik duruma geçmesine de sebep olabilir (ROOS, 1987). DSC (Differential Scanning Calorimetry) ile yapılan bir araştırmada kurutulmuş amorf maddenin rijit hale geçiş sıcaklığının, maddenin nem içeriğinin bir fonksiyonu olduğu bulunmuş ve dondurarak kurutma esnasında yüzey sıcaklığının rijit hale geçiş sıcaklığını etkilediği gözlenmiştir (PAAKKÖNEN ve ROOS, 1990).

Rijit durumdaki gıda ürünleri uzun zaman periyodunda stabil durumdadır ve bileşenlerin yayılımı elastik duruma göre daha düşüktür. Gıdanın depolanması sırasında, rijit halden elastik hale geçiş sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda, bozulma reaksiyonları için su daha az fonksiyoneldir. Amorf sakkarozun kristalizasyonu üzerine nisbi nemin etkisi buna bir örnektir. İkinci bir örnek, rijit halden elastik hale geçiş sıcaklığının altında depolanan dondurmada buz tanelerinin büyümesinin gerçekleşmemesidir.

Dondurarak kurutma esnasında, yıkılma sıcaklıkları bu şekilde açıklanabilir. Kapılar olan gıda sistemlerinde, kapılar kuvvetler buhar basıncını azaltır. Bu mekanizma kapılar yoğunlaşma olarak isimlendirilmekte ve Kelvin eşitliği ile ifade edilmektedir. Bununla birlikte, nişastalar gibi jelimsi sistemlerde önemli kapılar yoğunlaşma oluşmaz. Kapılardaki suyun şişme basıncının etkisinden dolayı bu mekanizma sadece sert kapılarda faaliyet gösterir. Fakat, kurutma sırasında suyun difüzyonuna engel olan kapılar faaliyetin meydana geldiği jelimsi gıdalarda söz konusu değildir (VAN DEN BERG, 1986).

ÇÖZELTİLERİN ÖZELLİKLERİ

Bileşikler suda çözüldüğü zaman, çözünen madde molekülleriyle su molekülleri oriyente olmakta ve entropi azalmaktadır. Bu durumda, su molekülleri sıvı fazdan buhar fazına geçmek için daha az serbest hale gelirler ve buhar basınçları düşer. Neticede bu durum, kaynama noktasının yükselmesi ve donma noktasının alçalmasına neden olur.

İdeal çözeltiler için buhar basıncı ve konsantrasyon arasındaki ilişki Raoult kanunuyla açıklanır. Bu kanuna göre, çözücünün buhar basıncının nisbi azalışı çözünen maddenin mol fraksiyonuna eşittir.

p çözeltilinin, p_0 çözücünün buhar basınçları ve n_1 çözünen maddenin mol sayısı, n_2 de çözücünün mol sayısı ise Raoult kanunu şöyle ifade edilebilir:

$$(p_0 - p)/p_0 = n_1/(n_1 + n_2) \quad \dots \dots \dots (11)$$

1 kg suyun 55,51 mol ihtiva ettiği göz önüne alınırsa, suyun 1 kg'ında çözünen ideal bir çözünen maddenin 1 molü $1/(1+55,51)$ veya % 1,77 oranında buhar basıncını düşürecekler. Daha uygun bir ifadeyle Raoult kanunu şöyle de yazılabilir:

$$p/p_0 = n_2/(n_1 + n_2) \quad \dots \dots \dots (12)$$

Bu da göstermektedir ki; 1 molar çözelti için buhar basıncı $55,51/(1+55,51)$ veya % 98,23'dür. Yani su aktivitesi, çözeltilerin ve çözücülerin buhar basınçlarının saf suyun buhar basıncına oranı ile tanımlanmaktadır:

$$a_w = p/p_0 \quad \dots \dots \dots (13)$$

Bu durumda 1 molar çözelti 0,9823 su aktivitesine sahiptir. Bu çözelti ile dengede olan bir atmosfer, % 98,23 oranında nisbi neme sahip olacaktır. Bundan dolayı, denge şartlarındaki denge nisbi nemi, su aktivitesi x 100'e eşit olacaktır. Saf suyun su aktivite değeri 1 olup, % 100'lük denge nisbi nemine eşittir.

SU AKTİVİTESİ İLE BAZI TERMODİNAMİK PARAMETRELER ARASINDAKİ İLİŞKİLER

Sıcaklık

Gıda bileşenleri, genellikle ideal karşınlar olarak davranmadığı için sıcaklık, gıdanın su aktivitesini değiştirir (VAN DEN BERG, 1986). Sıcaklığın etkisi pratikte büyük önem taşır. Sıcaklık yükseldikçe belli bir su aktivitesini sağlayan nem içeriği düşer. Yine sıcaklık arttıkça su içeriği sabit kaldığı halde su aktivitesi artar. Aynı etki sıfırın altındaki sıcaklıklarda da gözlenebilir (MAC KENZIE, 1975).

Yapılan bir araştırmada, tuzların su aktiviteleri, sıcaklığın artmasıyla birlikte azalma göstermiş ve bu olay termodinamik eşitliklerin yardımıyla açıklanmıştır. Bunun tam tersine gıdalarda sıcaklığın artması su aktivitesini de artırmıştır (LABUZA ve ark., 1985).

Buhar Basıncı

Herhangi bir gıda uzun zaman çevre atmosferine maruz bırakıldığında, tanenin su aktivitesine bağlı olarak değişen buhar basıncı, çevre buhar basıncının büyük ya da küçük oluşuma göre artar veya azalır. Neticede, buhar basınçları eşitlenir (DUTTA ve ark., 1988).

Eğer, yoğunlaşmış fazla dengedeki buhar fazı bir ideal gaz gibi davranıyorsa, mutlak aktivite oranı buhar basıncı oranına eşittir (MOORE, 1978).

$$a = \lambda_i/\lambda_{ref} = p_i/p_{ref} \quad (P, T \text{ sabit}) \quad \dots \dots \dots (14)$$

Ayrıca suyun olduğu durumda;

$$a_w = p/p' \quad \dots \dots \dots (15)$$

Eğer buhar fazı ideal bir gaz değilse, buhar basıncı ifadesi (p) fugasite olarak tanımlanır:

$$f = p \cdot \Gamma \quad \dots \dots \dots (16)$$

Ozmotik Basınc

Ozmotik basınç ve su aktivitesi arasındaki ilişki şöyle ifade edilmektedir.

$$a_w = -\exp(\Psi V_w / RT) \quad \dots \dots \dots (17)$$

Su aktivitesindeki küçük değişiklikler ozmotik basınçta çok büyük değişime sebep olabilir. Mesela, 25°C'de, 0,90 ve 0,99 su aktivitesindeki çözeltiler, sırasıyla 140,105 ve 13,105 ozmotik basınç oluşturmaktadır (MULTON ve ark., 1988).

Kapilar Basınc

Su aktivitesi ve kapilar basınç arasındaki ilişki matematiksel olarak şu ifadeyle gösterilmektedir:

$$a_w = -\exp(2\Delta \cos \alpha V / rrRT) = -\exp(\rho^c V / RT) \quad \dots \dots \dots (18)$$

Yukarıda ifade edilen, termodinamik parametreler gıdaların su aktivitesi ile oldukça yüksek bir korelasyon göstermektedir. Ayrıca, bu parametrelerin doğru olarak hesaplanması veya belirlenmesi gerekmektedir.

KISALTMALAR VE SEMBOLLER

<u>Sembol</u>	<u>Açıklama</u>	<u>Sembol</u>	<u>Açıklama</u>
a	Mutlak aktivite oranı	T	Mutlak sıcaklık
a _w	Su aktivitesi	U	Toplam iç enerji
f	Fugasite	V	Hacim
G	Gibbs serbest enerjisi	V _w	Suyun kısmi molar hacmi
H	Entalpi	α	Su ve kapilar duvar arasındaki temas açısı
n	Mol sayısı	Γ	Fugasite katsayısı
p	Buhar basıncı	Δ	Suyun yüzey gerilimi
P	Basınc	λ	Mutlak aktivite
r	Kapilar boru çapı	μ	Kimyasal potansiyel
R	İdeal gaz sabiti	Ψ	Ozmotik basınç
S	Entropi	ρ	Yoğunluk

<u>Alt İndis</u>	<u>Açıklama</u>	<u>Üst İndis</u>	<u>Açıklama</u>
buz	buz'a ait	id	ideal gaz'a ait
c	kapilar sistem'e ait	°	standart durum'a ait
i	i bileşen'ine ait	,	doymuş hal'e ait
w	su'ya ait		
ref	referans maddeye ait		
j	diğer bileşenlere ait		

KAYNAKLAR

- ACHOBA, I.I., ELEPHEDE, J.A., AGBAJI, A.S., AGBAJI, E.B., 1991. Moisture isotherms of cornchips at three temperatures. *Int. J. Food Sci. and Tech.* 26: 547.
- ANDRIEU, J., STAMATOPOULAS, A., ZAFIROPOULAS, M., 1986. Corn pasta water desorption isotherms. *Lebensm.-Wiss. u.-Tech.* 19:45.
- BENADO, A.L., RIZVI, S.S.H., 1985. Thermodynamic properties of water on rice as calculated from reversible and irreversible isotherms. *J. Food Sci.* 50:101.
- BRUIN, S., LUYBEN, K.Ch.A.M., 1982. Drying of food materials. In "Advances in drying". Ed S. Majumdar. Vol 1:156.
- DE GOIS, V.A., CAL-VIDAL, J., 1986. Waer sorption characteristics of freeze dried papaya in powdered and granular forms. *Can. Inst. Food Sci. Tech. J.* 19(1):7.
- DUTTA, S.K., NEMA, V.K., BHARDWAJ, R.K., 1988. Desorption equilibrium moisture content isotherms of gram. *Cereal Foods.* 33:8.
- LABUZA, T.P., 1968. Sorption phenomena in foods. *Food Tech.* 22(3): 263.
- LABUZA, T.P., 1970. Properties of water related to the keeping quality of foods. *Proceedings, 3 rd. Int'l. Congress. Food Sci. and Tech. IFT*, p. 618.
- LABUZA, T.P., KANANANE, A., CHEN, J.I., 1985. Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of to dehydrated foods. *J. Food Sci.* 50:385.
- MAC KENZIE, A.P., 1975. The physico-chemical environment during the freezing and thawing of biological materials. In "Water Relations of Foods" pp. 477. Academic Press. New York.
- MOK, C., DICK, W.J., 1991. Moisture adsorption of damaged wheat starch. *Creal Chem.* 68(4):405.
- PAAKKONEN, K., ROOS, H.I., 1990. Effects of drying conditions on water sorption and phase transitions of freeze-dried horseradish roots. *J. Food Sci.* 55(1):206.
- ROCKLAND, B.L., NISHI, K.S., 1980. Influence of water activity on food product quality and stability. *Food Techn.* 4:42.
- ROOS, I.H., 1987. Effect of moisture on the thermal behavior of strawberries studied using differential scanning calorimetry. *J. Food Sci.* 52:146.
- SARAVACOS, G.D., 1967. Effect of the drying method on water sorption of dehydrated apple and potato. *J. Food Sci.* 32(1): 81.
- SCOTT, W.J., 1957. Water relations of food spoilage microorganisms. *Advances Food Res.* 7:83.
- SLADE, L., LEVINE, H., FINNEY, J.W., 1989. Protein-water interactions: Water as a plasticizer of gluten and other protein polymers. *Food sci. Tech.* 29:9.
- STOLOFF, L., 1978. Calibration of water activity measuring instruments and devices: Colloborative study. *J. Assoc. off Anal. Chem.* 61(5): 1166.
- TROLLER, J.A., CHRISTIAN, J.H.B., 1978. *Water Activity and Foods*. Academic Press Inc. New York. San Francisco and London.
- VAN DEN BERG, C., 1986. *Concentration and Drying of Foods*. Ed. Mac. Carthy, D. London, Elsevier.
- WOLF, W., SPIESS, W.E.L., JUNG, G., 1985. *Sorption isotherms and water activity of food materials*. Elsevier: New York.